



SKRIPSI – TK141581

**SINTESIS *GRAPHENE* BERBASIS ARANG TEMPURUNG
KELAPA DENGAN METODE HUMMERS
TERMODIFIKASI**

Oleh:

Filla Mulyawati Khadifah

2313 100 119

Ryan Nurisal

2313 100 164

Dosen Pembimbing:

Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.

NIP. 19750306 200212 2 002

Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.

NIP. 19670203 199102 1 001

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT – TK141581

**SYNTHESIS OF *GRAPHENE* FROM COCONUT SHELL
CHARCOAL USING MODIFIED HUMMERS METHOD**

Authors:

Filla Mulyawati Khadifah

2313 100 119

Ryan Nurisal

2313 100 164

Advisors:

Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.

NIP. 19750306 200212 2 002

Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.

NIP. 19670203 199102 1 001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

"SINTESIS GRAPHENE BERBASIS ARANG TEMPURUNG KELAPA DENGAN METODE HUMMERS TERMODIFIKASI"

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik
Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

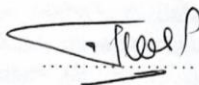
Filla Mulyawati Khadifah
Ryan Nurisal

NRP. 2313 100 119
NRP. 2313 100 164

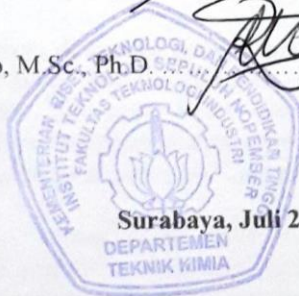
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.
(Pembimbing)
2. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.
(Pembimbing)
3. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng.
(Penguji)
4. Prof. Ir. Renanto Handogo, M.Sc., Ph.D.
(Penguji)

 -







Surabaya, Juli 2017

SINTESIS *GRAPHENE* BERBASIS ARANG TEMPURUNG KELAPA DENGAN METODE HUMMERS TERMODIFIKASI

Nama : Filla Mulyawati Khadifah (2313 100 119)
Ryan Nurisal (2313 100 164)
Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS
Pembimbing : Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.
Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta mempelajari karakterisasi teknik sintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa. Metode Hummers Termodifikasi merupakan pengembangan dari metode Hummers yang telah banyak digunakan untuk mensintesis *graphene* dari grafit.

Penelitian dimulai dengan mencampurkan arang tempurung kelapa yang telah dihancurkan dengan variasi ukuran 35 dan 200 mesh larutan H_2SO_4 dan serbuk NaNO_3 di dalam *icebath*. Selanjutnya, ditambahkan serbuk KMnO_4 secara perlahan lalu diencerkan dengan dilakukan penambahan air demin dan dipanaskan dengan variasi suhu 35°C , 80°C , dan 90°C . Selanjutnya larutan tersebut ditambahkan dengan larutan H_2O_2 dan didiamkan selama 6 jam untuk mengendapkan padatan lalu dilakukan pencucian.

Variasi metode kalsinasi juga dilakukan di awal atau di akhir metode Hummers Termodifikasi. Metode kalsinasi yang digunakan adalah menambahkan activator KOH dengan perbandingan 4:1 dengan karbon, lalu dikalsinasi di dalam *tubular furnace* dengan dialirkan gas nitrogen pada suhu 400°C selama 1 jam dan 800°C selama 3 jam.

Hasil uji karakteristik menunjukkan kemurnian, transparansi dan derajat oksidasi *graphene* meningkat namun kristalinitasnya menurun seiring kenaikan temperatur pemanasan dan penurunan ukuran bahan baku yang digunakan. Selain itu,

metode kalsinasi yang digunakan di awal maupun di akhir metode Hummers Termodifikasi dapat meningkatkan luas permukaan partikel.

Kata Kunci : *graphene*, Hummers, karbon, arang tempurung kelapa.

SYNTHESIS OF *GRAPHENE* FROM COCONUT SHELL CHARCOAL USING MODIFIED HUMMERS METHOD

Authors : Filla Mulyawati Khadifah (2313 100 119)
Ryan Nurisal (2313 100 164)
Department : Teknik Kimia FTI-ITS
Advisors : Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.
Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng

ABSTRACT

This study aims to develop and study the characterization of *graphene* synthesis techniques from coconut shell charcoal. The Modified Hummers method is the development of the widely used Hummers method to synthesize graphene from graphite.

The study began by mixing the crushed coconut shell charcoal that has variations of size 35 and 200 mesh with of H_2SO_4 and NaNO_3 powder in icebath. Subsequently, the KMnO_4 powder was slowly added and diluted by adding demineralized water and heated with temperature variations of 35°C , 80°C , and 90°C . Furthermore, the solution was added with H_2O_2 solution and allowed to stand for 6 hours to precipitate the solid then washed.

Variations of calcination methods are also carried out at the beginning or at the end of the Modified Hummers method. The calcination method used by adding KOH as an activator with a ratio of 4 : 1 to carbon, then calcined in tubular furnace with nitrogen gas flowed at 400°C for 1 hour and 800°C for 3 hours.

Characteristic test results show that the purity, transparency and degree of graphene oxidation increase but its crystallinity decrease with the increases of the heating temperature and the decreases of the size of the raw materials used. In addition, the calcination methods used at the beginning and at the end of the modified Hummers method can increase the particle surface area.

Keywords : *graphene*, Hummers, carbon, coconut shell charcoal.

(Halaman ini sengaja dikosongkann)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat Rahmat dan karunia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **Sintesis *Graphene* Berbasis Arang Tempurung Kelapa dengan Metode Hummers Termodifikasi**.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Ibu Dr. Widiyastuti, S.T., M.T dan Bapak Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi banyak saran dan bimbingan yang bermanfaat.
3. Bapak Juwari, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Bapak Setyo Gunawan, ST, Ph.D, selaku Sekretaris Departemen Teknik Kimia ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia ITS yang telah memberikan kemudahan-kemudahan selama masa perkuliahan.
6. Mbak Anggi dan Mas Fahmi yang sudah membantu untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Elkimkor (Vincent, Winny, Irsan, Arika, Abid, Tiara, Reko, Lila, Pras, Wenny, Denta, Fahmi, Oky, Risso, Ida, Giska, Mas Puma, Mbak Puspita, Mbak Mar'a, dan Mbak Linda) yang telah memberikan segala support, bantuan dan kerjasamanya.

8. Teman-teman K-53 yang telah memberikan banyak *support* dan bantuan dalam menyelesaikan kesulitan-kesulitan selama pengerjaan.
9. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Pra Desain Pabrik ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Namun, kami menyadari bahwa laporan ini masih ada hal-hal yang belum sempurna dan luput dari perhatian penulis. Baik itu dari bahasa yang digunakan maupun dari teknik penyajiannya. Oleh karena itu, dengan segala kekurangan dan kerendahan hati, kami sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca sekalian demi perbaikan laporan ini kedepannya. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi Penulis dan Pembaca khususnya.

Surabaya, 9 Juli 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Batasan Masalah	3
I.4. Tujuan Penelitian.....	3
I.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
II.1. Karbon	5
II.2. <i>Graphene</i>	6
II.3. Arang Tempurung Kelapa	8
II.4. Penelitian Terdahulu.....	9
BAB III	11
III.1. Garis Besar Penelitian	11
III.2. Bahan Penelitian	11
III.3. Prosedur Penelitian	12
III.3.1. Metode Hummers Termodifikasi	12
III.3.2. Metode Kalsinasi.....	14
III.3.3. Variabel Penelitian	16
III.4. Karakterisasi Hasil Penelitian	16
III.4.1. Karakterisasi Kemurnian dan Struktur Kristal	17
III.4.2. Karakterisasi Luas Permukaan <i>Graphene</i>	17
III.4.3. Karakterisasi Morfologi.....	18
III.4.4. Karakterisasi Gugus Fungsi	18
III.4.5. Spektrofotometri UV – Vis.....	18
BAB IV	19
IV.1. Kristalinitas dan Kemurnian Partikel	19

IV.1.1. Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Fase Kristal dan Kemurnian Partikel	20
IV.1.2 Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Fase Kristal dan Kemurnian Partikel	23
IV.1.3. Pengaruh Kalsinasi terhadap Fase Kristal dan Kemurnian Partikel	24
IV.2. Jenis Ikatan Gugus Fungsi Partikel	26
IV.3. Luas Permukaan Partikel	31
IV.4. Transparansi Partikel.....	34
IV.5. Morfologi Partikel.....	36
BAB V	37
DAFTAR PUSTAKA	xi

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	Berbagai Bentuk Alotrop Karbon	5
Gambar II.2.	Molekul Fullerene, Karbon Nanotubes, dan Grafit Disusun oleh Lapisan <i>Graphene</i>	8
Gambar III.1.	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	14
Gambar III.2.	<i>Flowchart</i> Metodologi Kalsinasi.	15
Gambar IV.1.	Pola Difraksi Analisa XRD <i>Graphene</i> (Zhang, 2014)	20
Gambar IV.2.	Pola Difraksi Analisa XRD pada Variabel Ukuran Arang Tempurung Kelapa.	21
Gambar IV.3.	Perbedaan Struktur <i>Graphene</i> pada Fase Kristal dan Amorf.	22
Gambar IV.4.	Pola Difraksi Analisa XRD pada Bahan Baku Arang Tempurung Kelapa dan Sampel dengan Variasi Suhu Pemanasan pada Metode Hummers Termodifikasi.	23
Gambar IV.5.	Pola Difraksi Analisa XRD Terhadap Pengaruh Kalsinasi.....	25
Gambar IV.6.	Pola Transmisi Analisa FTIR Partikel <i>Graphene</i> pada Variabel Temperatur Pemanasan.....	27
Gambar IV.7.	Pola Transmisi Analisa FTIR <i>Graphene</i> dan <i>Graphene Oxide</i> (Kellici dkk, 2014).....	29
Gambar IV.8.	Pola Transmisi Analisa FTIR Partikel <i>Graphene</i> pada Metode Kalsinasi.	30
Gambar IV.9.	Absorbansi <i>Graphene</i> pada Variabel Temperatur Pemanasan.....	34
Gambar IV.10.	Absorbansi <i>Graphene</i> pada Variabel Ukuran Partikel Arang Tempurung Kelapa	35
Gambar IV.11.	Morfologi Partikel <i>Graphene</i> (200 mesh, 35°C) pada pembesaran (A) 5.000x (B) 20.000x.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel III.1.	Komposisi Arang Tempurung Kelapa CV Athma Multidaya Makmur.....	11
Tabel III.2.	Variabel Penelitian.....	16
Tabel IV.1.	Derajat Kristalinitas pada Variasi Ukuran Partikel Arang Tempurung Kelapa.....	22
Tabel IV.2.	Derajat Kristalinitas pada Variasi Temperatur Pemanasan pada Metode Hummers Termodifikasi	24
Tabel IV.3.	Luas Permukaan Graphene pada Berbagai Sampel	32

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang tak terbatas. Dengan kondisi tersebut, tentunya tanaman kelapa cukup banyak ditemukan di seluruh pesisir Indonesia. Hal ini terlihat dari penyebaran tanaman kelapa di hampir seluruh wilayah Nusantara, yaitu di Sumatera dengan areal 1,20 juta ha (32,90%), Jawa 0,903 juta ha (24,30%), Sulawesi 0,716 juta ha (19,30%), Bali, NTB, dan NTT 0,305 juta ha (8,20%), Maluku dan Papua 0,289 juta ha (7,80%) (Nogoseno, 2003). Tanaman kelapa sendiri merupakan salah satu tanaman yang hampir bisa dimanfaatkan seluruh bagiannya. Namun, selama ini pemanfaatan utama dari tanaman kelapa hanyalah daging buah, daun, serta batangnya. Tempurung kelapa merupakan salah satu bagian dari tanaman kelapa yang cukup potensial namun masih jarang dimanfaatkan.

Tempurung kelapa merupakan bagian dari buah kelapa yang berupa *endocarp* dan diselimuti oleh sabut kelapa. Tempurung kelapa selama ini hanya dimanfaatkan energinya untuk pembakaran dalam bentuk arang (Matsuzawa dkk, 2007). Sebagai bahan bakar, arang lebih menguntungkan dibanding kayu bakar karena arang memberikan nilai kalor pembakaran yang lebih tinggi serta asap yang lebih sedikit. Pembakaran tidak sempurna pada tempurung kelapa menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang (Ekalinda, 2001).

Unsur utama penyusun arang (80-90%) adalah karbon (Ensiklopedia Nasional Indonesia, 1995). Karbon merupakan senyawa organik yang terdapat cukup banyak di alam. Dalam beberapa tahun belakangan ini, material karbon memegang

peranan yang cukup besar dalam dunia sains dan teknologi. Karbon banyak diaplikasikan dengan memanfaatkan struktur maupun fungsi materialnya. Pengaplikasian secara besar-besaran ini didasarkan pada ikatan kimia yang stabil di antara atom-atom karbon dan kemampuan karbon untuk mengikat berbagai macam atom-atom lainnya (Petrova dkk, 2010).

Dalam hal ini, *graphene* yang merupakan alotrop karbon yang berbentuk lembaran tipis memiliki sifat mekanis yang cukup istimewa. *Graphene* adalah elemen struktur dasar beberapa alotrop karbon, termasuk grafit, CNT, dan *fullerene*. Semenjak penemuannya pada tahun 2004, *graphene* telah menarik minat penelitian yang luar biasa dalam bidang teknologi penyimpanan energi karena sifatnya yang tidak biasa, seperti kekuatan mekanik yang besar, luas permukaan fisik yang besar, serta konduktivitas listrik tinggi (Lee dkk, 2010). *Graphene* memiliki konduktivitas termal lima kali lebih besar dibanding tembaga namun berat materialnya empat kali lebih rendah. Konduktivitas elektrik dari *graphene* pun setara dengan tembaga. *Graphene* juga memiliki kekuatan hingga lima puluh kali lipat kekuatan baja. Selain itu, *graphene* memiliki luas permukaan yang sangat tinggi yaitu hingga 2.500 m²/g. Oleh karena itu, banyak ilmuwan mengatakan bahwa *graphene* akan menjadi bahan kompetitif untuk penyimpanan energi aplikasi seperti baterai, sel surya, serta superkapasitor (Ray, 2015).

Dengan beragam aplikasi, metode sintesis *graphene* sudah banyak diteliti. *Graphene* dapat diperoleh secara kimiawi maupun secara mekanis dari serbuk grafit. Secara umum, metode sintesis *graphene* yang cukup dikenal ada empat macam, yaitu *chemically derived*, *exfoliation* grafit, *chemical vapor deposition*, serta sintesis organik. Hummers mensintesis *graphene* secara *chemically derived* dari grafit oksida dengan menggunakan senyawa oksidator seperti asam sulfat dengan konsentrasi 98%, asam nitrat dan kalium permanganate (Hummers and Offeman, 1958). Yang dkk membuat terobosan besar dalam mensintesis ikatan *graphene* secara organik dalam dua dimensi dengan ukuran 12 nm dengan cara

mencampurkan *1,4-diiodo-2,3,5,6-tetraphenylbenzene* dengan *4-bromophenylboronic acid* (Yang dkk, 2008).

Green dan Hersam berhasil mensintesis *graphene* dari grafit menggunakan *sodium cholate* sebagai surfaktan dengan metode *exfoliation* grafit (Green and Hersam, 2009). Kim dkk mensintesis *graphene* dari gas metana dengan tujuan untuk mencegah terbentuknya multi *layer graphene* pada kelarutan karbon sedang hingga tinggi ($>0,1$ *atomic %*) pada medium logam seperti Co dan Ni (Kim, 2009). Secara umum, metode sintesis *graphene* yang telah banyak diteliti membutuhkan bahan dasar grafit maupun oksidanya. Untuk itu, diperlukan suatu metode yang lebih sederhana dan lebih efisien dalam mensintesis *graphene* agar penerapan teknologi berbasis *graphene* lebih mudah terealisasi. Maka, diperlukan pengembangan teknik sintesis *graphene* dari biomassa (arang tempurung kelapa) secara langsung dengan harapan dapat mempersingkat proses sintesis dan menghemat waktu serta energi.

I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah metode sintesis *graphene* yang sudah banyak diteliti cenderung masih menggunakan bahan baku grafit maupun oksidanya, sehingga diperlukan teknik sintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa yang dapat mempersingkat proses sintesis dan menghemat waktu serta energi.

I.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi hanya pada proses sintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa menggunakan metode Hummers termodifikasi.

I.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan serta mempelajari karakterisasi teknik sintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa.

I.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

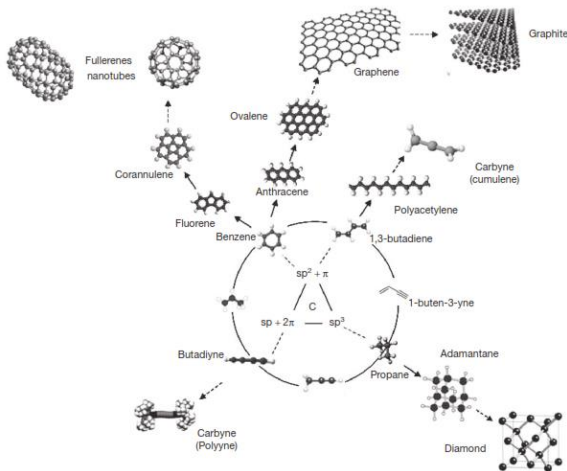
1. Memberikan kontribusi dalam teknik sintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa.
2. Meningkatkan pemanfaatan tempurung kelapa yang belum maksimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Karbon

Karbon merupakan salah satu material yang sangat berlimpah keberadaannya di alam. Karbon merupakan material penyusun utama pada bahan bakar fosil seperti batubara, *petroleum*, dan gas alam. Pada makhluk hidup, karbon merupakan material penyusun utama pada karbohidrat, protein, dan lemak. Karbon memiliki empat atom valensi yang memungkinkan karbon dapat membentuk susunan kristal yang berbeda-beda (Alotrop). Alotrop adalah modifikasi struktural yang berbeda-beda dari sebuah unsur.



Gambar II.1. Berbagai Bentuk Alotrop Karbon (Inagaki dan Kang, 2014).

Beberapa contoh dari alotrop karbon yang sudah banyak dikenal adalah grafit dan intan, namun selain itu karbon juga dapat membentuk alotrop tiga dimensi lainnya seperti CNT (*Carbon Nanotubes*) dan juga alotrop 2 dimensi seperti *graphene*. Sifat dari

masing-masing alotrop berbeda-beda antara satu alotrop dengan alotrop yang lainnya berdasarkan pada perbedaan susunan dari struktur ikatan atom penyusunnya. (Pierson, 1993)

Penggunaan karbon dalam kehidupan sehari-hari sudah banyak diaplikasikan baik dalam bentuk karbon ataupun turunannya. Karbon aktif dari tempurung kelapa digunakan sebagai pemurnian air dan penyaring tembakau. Karbon fiber digunakan sebagai material penyusun raket dan joran pancing serta material pada pensil. Karbon aktif digunakan sebagai deodorisasi pada sistem pendingin (*refrigerator*), sebagai penyusun membran pada *keyboard* komputer dan alat-alat lainnya.

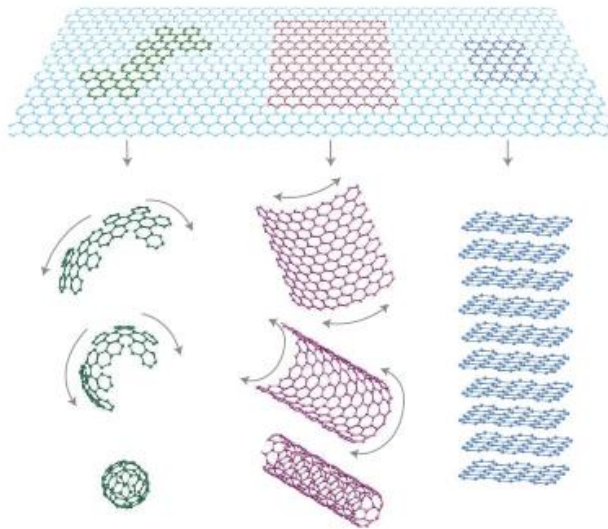
II.2. *Graphene*

Graphene merupakan alotrop karbon dengan bentuk dua dimensi dan berikatan secara heksagonal. *Graphene* merupakan penyusun dasar dari alotrop karbon lainnya seperti grafit, arang, *carbon nanotubes* dan *fullerenes*. Panjang ikatan C – C pada *graphene* sebesar 1,42 Å, dengan ikatan yang kuat dalam satu bidang lapisan tetapi lemah antar lapisan lain. *Graphene* merupakan senyawa dua dimensi yang hanya terdiri dari satu lapisan, sedangkan untuk struktur ikatan yang terdapat pada *graphene* sama seperti alotrop karbon yang berbentuk tiga dimensi (Royal Academy Sciences, 2010).

Luas permukaan dari satu lapisan *graphene* dapat mencapai 2630 m²/g, nilai ini jauh lebih besar dari *carbon black* 900 m²/g atau *carbon nanotubes* yang memiliki luas permukaan 100-1000 m²/g. *Graphene* berikatan secara heksagonal dengan luas permukaan sebesar 0,052 nm², dengan massa jenisnya yang sebesar 0,77 mg/m². Sehingga berdasarkan hipotesis *hammock*, *graphene* dengan berat 0,77 mg memiliki luas permukaan sebesar 1 m². Pada sisi optis, *graphene* memiliki sifat yang unik dan luar biasa dimana dapat mentransmisikan cahaya hingga >97,7%. Nilai konduktivitas untuk material berdimensi dua dimensi diukur menggunakan persamaan $\sigma = en\mu$ dengan nilai $\mu = 200.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan $n = 10^{12}\text{cm}^{-2}$. Nilai tahanan dalam untuk material *graphene* per luas

area adalah sebesar 31Ω . Sehingga dengan menggunakan ketebalan *graphene* didapatkan *bulk* konduktivitas listrik *graphene* sebesar $0,96 \times 10^6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan konduktivitas listrik tembaga yang hanya bernilai $0,6 \times 10^6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. Selain itu *graphene* juga memiliki nilai konduktivitas panas yang lebih besar tembaga dengan nilai konduktivitas panas *graphene* mencapai $5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ sedangkan nilai konduktivitas panas dari tembaga hanya sebesar $402 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, dengan nilai ini maka konduktivitas panas *graphene* mencapai 10 kali dibandingkan dengan tembaga. *Graphene* memiliki nilai modulus young yang mencapai 1000 Gpa dengan rapat massa yang empat kali lebih kecil jika dibandingkan dengan tembaga. *Graphene* memiliki kekuatan sebesar 42 N/m , sedangkan baja memiliki kekuatan sebesar $0,25 - 1,2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, sehingga dengan ketebalan yang sama dengan *graphene* maka baja memiliki kekuatan (pada 2 dimensi) sebesar $0,084 - 0,4 \text{ N/m}$ sehingga *graphene* memiliki kekuatan 100 kali dibandingkan dengan baja dan *graphene* bersifat fleksibel. *Graphene* diyakini dapat menjadi bahan penyusun utama dari berbagai alotrop grafit (Ray, 2015).

Dengan sifat fisik yang dimiliki oleh *graphene*, *graphene* dapat diaplikasikan pada berbagai bidang. *Graphene* dapat diaplikasikan dalam pembuatan elektroda, superkapasitor, dan baterai *lithium ion*. *Graphene* juga dapat diaplikasikan sebagai bahan pembuatan layar sentuh, bola lampu, dan *solar cell* karena *graphene* memiliki konduktivitas panas dan listrik yang baik, oleh karena itu *graphene* dapat menggantikan penggunaan Indium-Tin Oxide (ITO). Aplikasi lainnya yang dapat diterapkan dari *graphene* adalah sebagai sensor, membran, serta pendeteksi gas. Material komposit berbasis *graphene* dapat memiliki kekuatan yang besar namun dengan massa yang ringan merupakan salah satu hal yang dapat dikembangkan sebagai bahan material untuk satelit serta *aircraft* (Royal Academy Sciences, 2010).



Gambar II.2. Molekul *Fullerene*, *Carbon Nanotubes*, dan Grafit
Disusun oleh Lapisan *Graphene*.

II.3. Arang Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan bagian dari buah kelapa yang berupa endokarp, bersifat keras, dan diselubungi oleh sabut kelapa. Tempurung kelapa paling banyak dimanfaatkan sebagai bahan bakar maupun bahan baku beragam kerajinan tangan. Beberapa industri meubel kecil ada yang sudah memanfaatkan sebagai alat peraga edukatif ataupun cinderamata. Manfaat lain yang bisa diambil dari tempurung kelapa adalah sebagai bahan baku pembuatan arang aktif. Komposisi tempurung kelapa pada umumnya adalah sebagai berikut: Selulosa 26,6%, Lignin 29,40 %, Pentosan 27,74%, Solvent ekstraktif 4,20%, Uronat anhidrid 3,50%, Abu 0,62%, Nitrogen 0,11%, dan air 8,01% (Suhartana, 2006).

Arang merupakan residu yang berwarna hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dari proses penghilangan kandungan air dan komponen volatil dari hewan atau tumbuhan. Arang tempurung kelapa adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa. Pembakaran tidak sempurna pada tempurung kelapa menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida, peristiwa ini disebut sebagai pirolisis. Arang dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas – gas hidrokarbon (pirolisis sekunder) (Ekalinda, 2001). Sebagai bahan bakar, arang memberikan kalor pembakaran yang tinggi. Kandungan karbon pada arang tempurung kelapa rata-rata sebesar 78% dengan nilai kalor yang mencapai 23,68 MJ/kg dan memiliki kandungan sulfur yang sangat rendah yaitu kurang dari 0,01% (Rout dkk, 2015).

II.4. Penelitian Terdahulu

Graphene dapat disintesis dengan berbagai cara, salah satu dari cara sintesis *graphene* yang cukup populer adalah dengan *exfoliation* grafit dengan bahan turunan grafit yaitu grafit oksida dan grafit terinterkelasi.

Hummers mensintesis *graphene* dari grafit oksida dengan menggunakan senyawa oksidator seperti asam sulfat dengan konsentrasi 98%, asam nitrat dan kalium permanganat. Hasil yang didapatkan dari metode ini adalah tingkat keefektifitasan oksidasi dipengaruhi oleh perbandingan antara grafit oksida pada produk atau dengan rasio antara karbon dengan oksigen. Rasio optimal untuk terjadinya oksidasi adalah dengan perbandingan karbon dan karbon sebesar 2,1 hingga 2,9 (Hummers and Offeman, 1958).

Green dan Hersam berhasil mensintesis *graphene* dari grafit menggunakan *sodium cholate* sebagai surfaktan. Hasil eksfoliasi tersebut menyebabkan terbentuknya *graphene* yang hanya terdiri dari satu *layer* dan grafit yang terdiri dari beberapa lapisan *graphene* yang memiliki perbedaan *buoyant density*. *Graphene* yang terbentuk tersebut diisolasi dengan menggunakan

density gradient ultracentrifugation (DGU) untuk mendapatkan ketebalan *layer* yang seragam. Pemisahan dengan DGU ini menghasilkan lapisan – lapisan *graphene* berdasarkan sifat *buoyant density* masing-masing (Green and Hersam, 2009).

Kim dkk mensintesis *graphene* dengan tujuan untuk mencegah terbentuknya multi *layer graphene* pada kelarutan karbon sedang hingga tinggi ($>0,1$ *atomic %*) pada medium logam seperti Co dan Ni. Pada percobaannya kim melakukan pelapisan senyawa SiO_2/Si dengan lapisan tipis Ni yang memiliki ketebalan sebesar 300 nm (Kim dkk, 2009).

Yang dkk membuat terobosan besar dalam mensintesis ikatan *graphene* dalam dua dimensi dengan ukuran 12 nm. Hal ini didapatkan dengan cara mencampurkan *1,4-diiodo-2,3,5,6-tetraphenylbenzene* dengan *4-bromophenylboronic acid*. Selain itu mullen dkk juga mensintesis *graphene nanoribbons* (GNR) pada permukaan emas dari 10,10'-dibromo-9,9'-bianthryl monomer precursor (Yang dkk, 2008).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Garis Besar Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa. Penelitian ini dilakukan untuk memotong satu langkah dalam teknik sintesis *graphene* yang sudah umum yaitu proses pembuatan grafit dari arang tempurung kelapa. Dengan demikian, maka *graphene* dapat langsung disintesis dari arang tempurung kelapa tanpa harus melalui tahapan pembuatan grafit dari arang tempurung kelapa.

III.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Serbuk arang tempurung kelapa
Fungsi : Sumber karbon yang akan diubah menjadi *graphene*
Sumber : CV Athma Multidaya Makmur
Dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel III.1. Komposisi Arang Tempurung Kelapa CV Athma Multidaya Makmur

Parameter	Presentase (%)
Moisture Content	7,55
Volatile Matter	2,82
Ash Content	1,32
Fix Carbon	88,31

- b. Asam Sulfat
Fungsi : Membentuk GIC- H_2SO_4
Sumber : Merck
- c. Natrium Nitrat
Fungsi : Mereduksi *graphene* oksida menjadi *graphene*

- Sumber : SAP
- d. Kalium Permanganat
Fungsi : Mengoksidasi grafit dan memastikan reaksi berjalan sempurna.
Sumber : SAP
- e. Hidrogen Peroksida 30%
Fungsi : Penetral ion-ion yang belum bereaksi
Sumber : Merck
- f. Asam Klorida 10%
Fungsi : Pencuci *graphene*
Sumber : Merck
- g. Air demin
Fungsi : Pencuci dan penetral *graphene*
Sumber : SAP
- h. KOH Padat
Fungsi : Aktivator dalam metode kalsinasi
Sumber : Merck

III.3. Prosedur Penelitian

III.3.1. Metode Hummers Termodifikasi

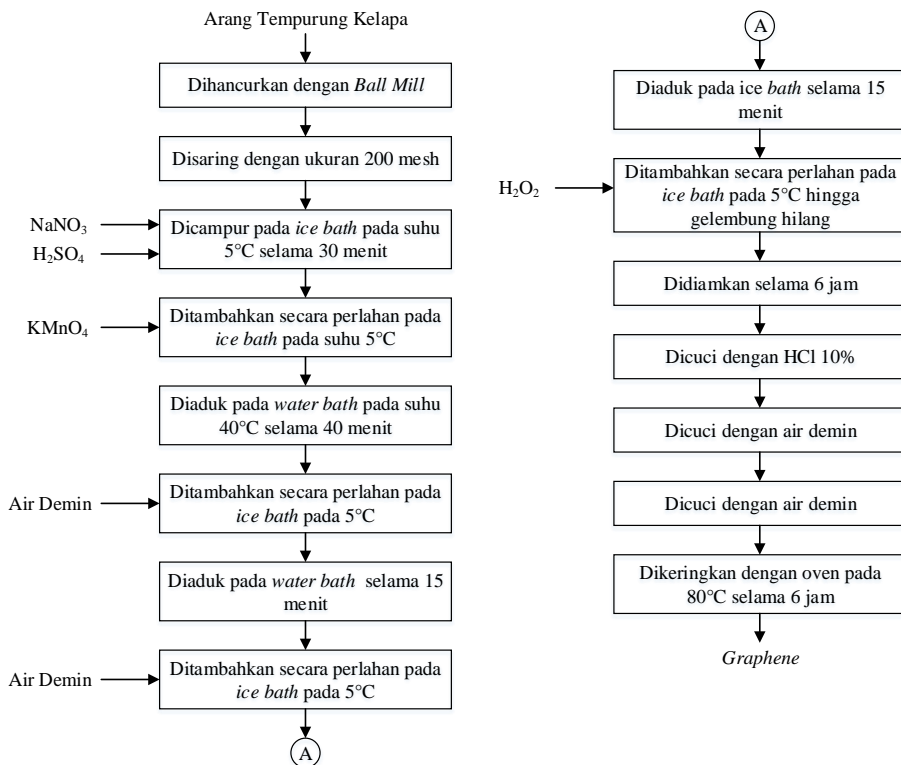
Penelitian dimulai dengan menimbang serbuk arang tempurung kelapa yang telah dihancurkan menggunakan *ball-mill* dan diayak dengan penyaring berukuran 200 mesh. Kemudian, granula NaNO_3 dan larutan H_2SO_4 ditambahkan ke dalam *beaker glass* pada *icebath* yang dijaga suhunya antara $0-5^\circ\text{C}$ di dalam ruang asam. Setelah pencampuran, larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 40 menit. Kemudian ditambahkan granula KMnO_4 secara perlahan pada sampel tersebut dan dilanjutkan dengan pengadukan pada temperatur 5°C .

Setelah itu sampel dipindahkan kedalam *waterbath* di dalam ruang asam dengan temperatur 40°C dan pengadukan. Larutan sampel dipindahkan kembali ke dalam *icebath* pada temperatur 5°C dan diencerkan dengan dilakukan penambahan air demin.

Setelah diencerkan, sampel kembali dipindahkan ke dalam *waterbath* dan kembali diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah 30 menit, dilakukan pengenceran kedua. Pengenceran kedua ini dilakukan di dalam *icebath* pada temperatur 5°C dengan menambahkan air demin.

Selanjutnya larutan tersebut ditambahkan dengan larutan H₂O₂ untuk mengurangi sisa ion MnO₄ dan MnO₂ menjadi mangan sulfat terlarut. Penambahan H₂O₂ ini dilakukan hingga gelembung yang terjadi berhenti muncul.

Setelah itu, larutan didiamkan selama 6 jam untuk mengendapkan padatan. Setelah 6 jam, larutan bagian atas yang berwarna bening dipisahkan dari bagian bawah yang berwarna lebih gelap. Kemudian, ditambahkan larutan HCl 10% ke dalam larutan untuk selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit. Lalu, larutan dipindahkan ke dalam tabung *centrifuge*. Kemudian, larutan tersebut di-*centrifuge* selama 10 menit. Setelah larutan dan endapan terpisah (endapan akan mengendap di bagian bawah tabung *centrifuge*), larutan dipisahkan dari endapannya. Setelah larutan dikeluarkan dari tabung *centrifuge*, endapan yang masih ada di dalam tabung *centrifuge* dicuci kembali menggunakan air demin dan di-*centrifuge* kembali selama 10 menit. Setelah itu, larutan kembali dipisahkan dan endapan diletakkan di dalam *petridish*. Kemudian, endapan dikeringkan pada suhu 80°C selama 12 jam.

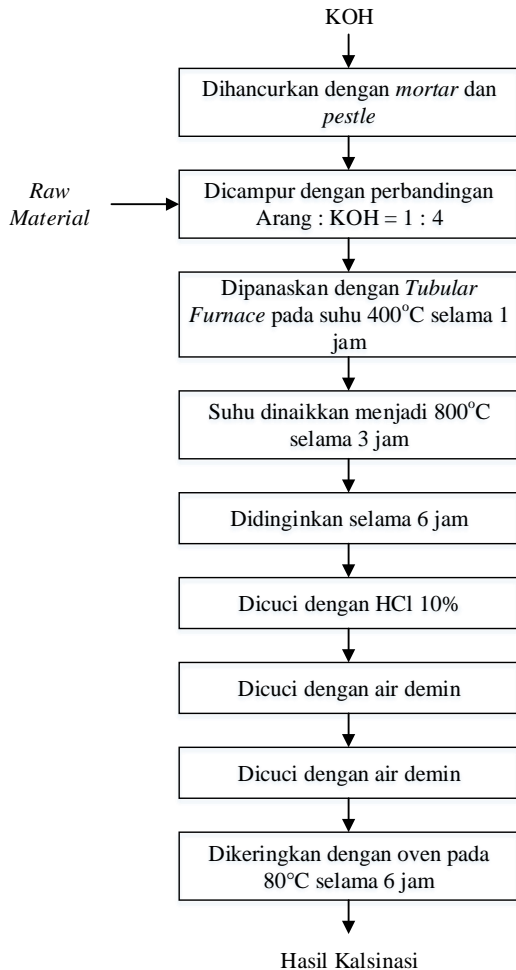


Gambar III.1. Flowchart Metodologi Hummers Termodifikasi

III.3.2. Metode Kalsinasi

Metode kalsinasi dilakukan dengan menggunakan KOH padat sebagai agen aktivasi kimia. KOH padat dihancurkan menggunakan mortar dan alu kemudian dicampur dengan *raw material* dengan perbandingan massa KOH : *raw material* 4:1. Campuran KOH dan *raw material* kemudian dilakukan kalsinasi pada *furnace* dengan dialiri gas N₂ (Yang, 2014). Kalsinasi dilakukan pada temperatur 400°C selama 1 jam dan dilanjutkan pada temperatur 800°C selama 3 jam. Kemudian, larutan tersebut

dilakukan pencucian dan dikeringkan dengan tahapan seperti pada metode Hummers Termodifikasi.



Gambar III.2. *Flowchart* Metodologi Kalsinasi

III.3.3. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

Tabel III.2. Variabel Penelitian

Nama Sampel	Metode	Ukuran Partikel	Temperatur Pemanasan
H1	Hummers Termodifikasi	35 Mesh	35°C
H2	Hummers Termodifikasi	35 Mesh	80°C
H3	Hummers Termodifikasi	35 Mesh	95°C
H4	Hummers Termodifikasi	200 Mesh	35°C
H5	Hummers Termodifikasi	200 Mesh	80°C
H6	Hummers Termodifikasi	200 Mesh	95°C
KH1	Kalsinasi + Hummers Termodifikasi	200 Mesh	35°C
HK1	Hummers Termodifikasi + Kalsinasi	200 Mesh	35°C
HK2	Hummers Termodifikasi + Kalsinasi	200 Mesh	35°C
HK3	Hummers Termodifikasi + Kalsinasi	200 Mesh	35°C

III.4. Karakterisasi Hasil Penelitian

Karakterisasi hasil penelitian dilakukan untuk mengetahui apakah tujuan penelitian dapat dikatakan berhasil atau tidak. Dalam hal ini, untuk menjawab rumusan masalah, dilakukan tiga

macam uji guna mendapatkan karakter dari hasil penelitian diantaranya uji XRD, uji BET, uji FTIR, uji SEM, dan uji UV-Vis.

III.4.1. Karakterisasi Kemurnian dan Struktur Kristal

X-Ray diffraction (XRD, PAN analytical series) digunakan untuk mengetahui kemurnian dan struktur kristal dari produk yang terbentuk. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Kemudian, pola difraksi yang berupa posisi dan intensitas relatif puncak difraksi dibandingkan dengan pola difraksi standar *allotrop* karbon untuk mengetahui apakah bentuk material berupa amorf atau kristal.

Derajat kristalinitas dapat dihitung dengan cara membandingkan luas kristalin (*peak*) yang terdapat pada hasil pola difraksi analisa XRD dengan luas amorf melalui persamaan :

$$\text{Kristalinitas (\%)} = \frac{(\Delta \text{kristalin})}{(\Delta \text{kristalin} + \Delta \text{amorf})} \times 100\%$$

Luas kristalin adalah luasan daerah yang berada di bawah kurva kristal sedangkan luas amorf adalah luasan daerah yang berada di bawah kurva amorf.

III.4.2. Karakterisasi Luas Permukaan *Graphene*

Karakteristik fisik dari *Graphene* berupa luas area spesifik (*surface area*) (m^2/g) dapat diketahui melalui analisa adsorpsi-desorpsi isothermis nitrogen pada titik didih nitrogen (77 K) menggunakan alat BET (Brunauer-Emmet-Teller) Quantachrom type NOVA 1200e. Sebelum dilakukan pengukuran luas permukaan, sampel di_*degasse* dengan menggunakan aliran gas nitrogen pada temperatur 300°C selama 3 jam yang berfungsi untuk menghilangkan molekul-molekul air yang terperangkap didalam sampel. Perhitungan luas permukaan spesifik dilakukan dengan metode *multi-point* BET (Brunauer-Emmet-Teller) pada rentang $\frac{P}{P_0} < 0,3$.

III.4.3. Karakterisasi Morfologi

Morfologi *graphene* dapat diketahui melalui analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Alat ini yang digunakan berupa SEM FEI tipe Inspect S 40. alat ini bekerja dengan memfokuskan sinar elektron berenergi tinggi untuk menghasilkan difraksi sinar pada permukaan sampel. Difraksi ini menghasilkan sinyal yang berasal dari interaksi elektron dengan sampel sehingga dapat terlihat morfologi eksternalnya (tekstur). Sebelum dianalisa, sampel diletakkan pada pin SEM yang telah ditemplei *tape*, tape yang digunakan berupa *copper tape*.

III.4.4. Karakterisasi Gugus Fungsi

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) digunakan untuk mengidentifikasi perubahan ikatan kimia yang berada di dalam sampel *Graphene*. Spektroskopi FTIR merupakan teknik pengukuran yang menggunakan sinar inframerah untuk mendeteksi transisi vibrasi suatu molekul pada panjang gelombang 4000 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1} . Vibrasi yang dihasilkan dari setiap gugus memberikan citra berupa garis yang membantu mengidentifikasi gugus fungsi senyawa. Alat yang digunakan untuk melakukan Analisa FTIR ini adalah FTIR Shimadzu FTIR-8400S.

III.4.5. Spektrofotometri UV – Vis

Spektrofotometri ultraviolet dan sinar tampak (UV – Vis) adalah pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Spektrofotometer yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis Genesys 10S dari Thermo Scientific, sedangkan pelarut/blanko yang digunakan pada analisis ini adalah larutan Isopropil Alkohol.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta mempelajari karakterisasi teknik sintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa. Metode Hummers termodifikasi digunakan untuk mensintesis *graphene* dari arang tempurung kelapa. Variabel penelitian yang digunakan pada metode Hummers termodifikasi adalah variabel temperature pemanasan serta ukuran partikel arang tempurung kelapa yang digunakan. Untuk temperature pemanasan digunakan variabel 35°C, 80°C, serta 95°C. Sedangkan untuk ukuran partikel arang tempurung kelapa digunakan variabel 35 mesh dan 200 mesh. Selain metode Hummers termodifikasi, kalsinasi juga dipelajari dalam sintesis *graphene*. Variabel metode yang digunakan adalah antara lain metode Hummers termodifikasi + kalsinasi, serta metode kalsinasi + Hummers termodifikasi.

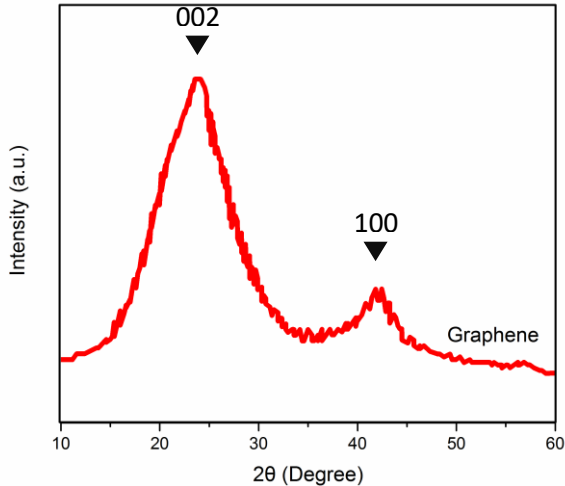
IV.1. Kristalinitas dan Kemurnian Partikel

Kristalinitas dari *graphene* diketahui melalui hasil analisa *X-Ray Diffraction* (XRD). Analisa XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal dari suatu material. Sinar X yang diarahkan ke material akan terdifraksi pada bidang kristal yang dimiliki oleh material tersebut karena orde dari panjang gelombang sinar-X hampir sama atau lebih kecil dengan orde jarak antar atom dalam suatu kristal (Zulianingsih, 2012).

Pada analisa XRD ini, digunakan sumber target Cu-Ka1 dengan λ sebesar 1,540590 Angstrom. Hasil yang didapat pada analisa XRD berupa pola difraksi hubungan antara sudut 2θ dengan intensitas hamburan.

IV.1.1. Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Fase Kristal dan Kemurnian Partikel

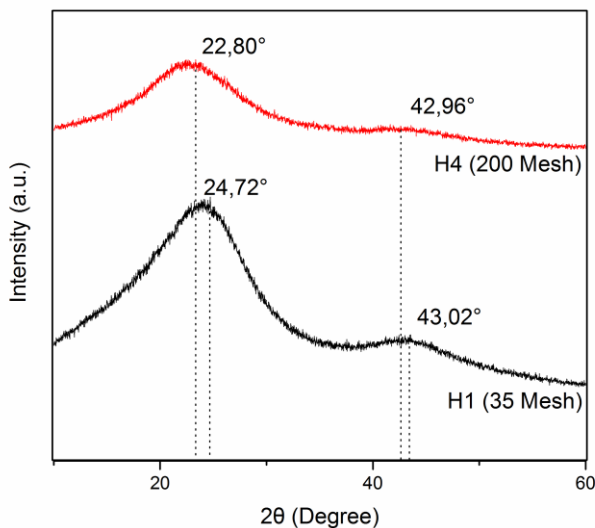
Graphene memiliki dua puncak pola difraksi (*peak*) pada sudut 2θ 23° dan 43° , pola analisa XRD *graphene* sesuai dengan Gambar IV.1. di bawah ini. (Zhang dkk, 2014).



Gambar IV.1. Pola Difraksi Analisa XRD *Graphene* (Zhang, 2014)

Pada sampel dengan ukuran 35 mesh dan suhu pemanasan pada metode Hummers Termodifikasi 35°C (H1), didapati *peak* pada sudut 2θ $24,72^\circ$ (002) serta $43,02^\circ$ (100) dengan intensitas masing-masing 2704 a.u. dan 1021 a.u. Sedangkan untuk sampel dengan ukuran 200 mesh dan suhu pemanasan yang sama (H4) didapati *peak* pada sudut 2θ $22,34^\circ$ dan $42,96^\circ$. Berdasarkan gambar IV.2. hasil analisa *X-Ray Diffraction* menunjukkan adanya puncak pola difraksi pada sudut 2θ $24,72^\circ$ serta $43,02^\circ$. Sedangkan, pada sampel H4 puncak pola difraksi pertama sedikit bergeser ke kiri atau pada sudut 2θ $22,34^\circ$ dan $42,96^\circ$. Dapat diketahui bahwa

pada kedua variabel ukuran partikel arang tempurung kelapa, sama-sama dihasilkan dua *peak*.



Gambar IV.2. Pola Difraksi Analisa XRD pada Variabel Ukuran Arang Tempurung Kelapa

Namun, *peak* pada ukuran 200 mesh sedikit bergeser ke kiri (sudut 2θ semakin kecil). Pola difraksi dari kedua variabel ini hampir sama, namun dapat diketahui bahwa intensitas dari sampel dengan ukuran arang tempurung kelapa lebih besar (H1 35 mesh) memiliki intensitas yang lebih tinggi dari sampel dengan ukuran arang tempurung kelapa lebih halus (H4 200 mesh). Ukuran arang tempurung kelapa dapat dikatakan mempengaruhi kristalinitas material *graphene* yang dihasilkan.

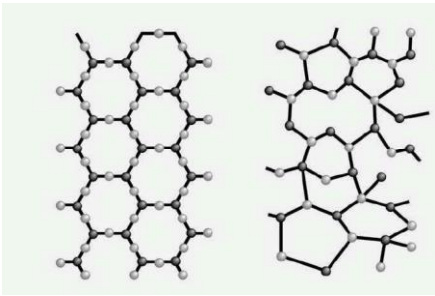
Pergeseran pola difraksi yang terjadi disebabkan oleh adanya perbedaan derajat oksidasi yang terjadi selama proses sintesis, sebagian material arang mengalami laju oksidasi yang tinggi sehingga akan muncul gugus fungsional oksigen dan air

pada *interlayer*. Bagian yang teroksidasi dengan derajat rendah akan terbentuk *few layer graphene* (FLG) pada 20 26°, sedangkan bagian yang derajat oksidasinya lebih tinggi terbentuk *single layer graphene* (SLG) pada 20 23-24° (Tang dkk, 2012).

Variasi ukuran arang tempurung kelapa yang digunakan juga mempengaruhi derajat kristalinitas partikel karena memiliki perbedaan intensitas puncak pola difraksi yang cukup signifikan. Derajat kristalinitas adalah perbandingan antara fase kristal dengan fasa amorf yang terdapat pada suatu material. Derajat kristalinitas ini dapat menggambarkan tingkat keteraturan struktur suatu material. Berdasarkan hasil XRD yang didapatkan, dapat diketahui bahwa semakin besar ukuran partikel bahan baku maka kristalinitas partikel yang dihasilkan semakin baik.

Tabel IV.1. Derajat Kristalinitas pada Variasi Ukuran Partikel Arang Tempurung Kelapa

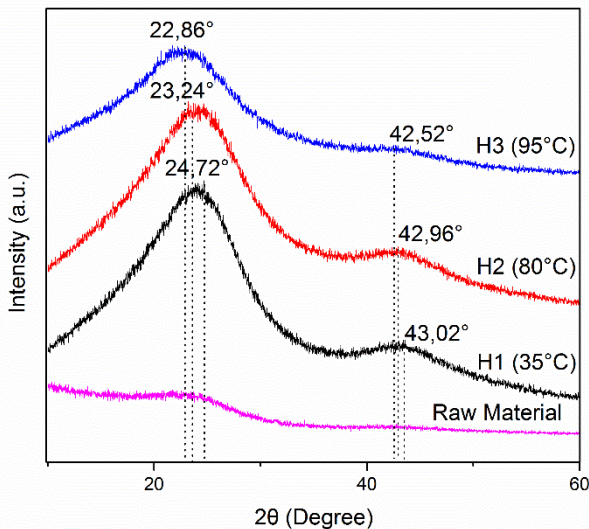
Ukuran Partikel	Derajat Kristalinitas
35 mesh	75,89%
200 mesh	42,32%



Gambar IV.3. Perbedaan Struktur *Graphene* pada Fase Kristal dan Amorf.

IV.1.2 Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Fase Kristal dan Kemurnian Partikel

Pada metode Hummers, suhu pemanasan yang digunakan adalah 35°C. Metode Hummers Termodifikasi yang digunakan mencoba mevariasikan suhu pemanasan pada 35°C, 80°C, dan 95°C.



Gambar IV.4. Pola Difraksi Analisa XRD pada Bahan Baku Arang Tempurung Kelapa dan Sampel dengan Variasi Suhu Pemanasan pada Metode Hummers Termodifikasi.

Berdasarkan Gambar IV.4., dapat diketahui bahwa metode Hummers Termodifikasi dapat mempengaruhi kristalinitas partikel yang dihasilkan. Bahan baku arang tempurung kelapa memiliki pola difraksi yang sangat amorf dan tidak memiliki puncak pola difraksi. Setelah melalui metode Hummers Termodifikasi, ketiga sampel yang diberi perlakuan temperature pemanasan berbeda sama-sama menghasilkan dua puncak pola difraksi pada sudut 2θ sekitar 23° dan 43°. Hal ini mengindikasikan bahwa metode

Hummers Termodifikasi dapat digunakan untuk mensintesis *graphene* yang memiliki puncak pola difraksi pada sudut 2θ 23° dan 43° .

Sampel H1 yang pemanasannya dilakukan pada 35°C memiliki puncak pola difraksi pada sudut 2θ $24,72^\circ$ dan $43,02^\circ$. Sedangkan sampel H2 dengan pemanasan pada 80°C memiliki puncak pola difraksi pada sudut 2θ $23,24^\circ$ dan $42,96^\circ$. Sampel H3 dengan pemanasan 95°C memiliki puncak pola difraksi pada sudut 2θ $22,86^\circ$ dan $42,52^\circ$. Dapat diperhatikan bahwa dari ketiga sampel tersebut pada temperature pemanasan yang semakin tinggi maka puncak pola difraksi semakin bergeser ke arah kiri. Pergeseran puncak pola difraksi semakin mendekati sudut 2θ 23° ini disebabkan oleh perbedaan derajat oksidasi. Pergeseran ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan temperatur pemanasan yang digunakan membuat *single layer graphene* (SLG) yang terbentuk semakin banyak.

Namun, kemurnian *graphene* yang dihasilkan ini berbanding terbalik dengan derajat kristalinitasnya. Hal ini dapat diketahui dari perbedaan ketinggian puncak pola difraksi dari masing-masing sampel yang cukup signifikan. Semakin tinggi temperatur pemanasan yang digunakan, semakin rendah derajat kristalinitas partikel yang terbentuk.

Tabel IV.2. Derajat Kristalinitas pada Variasi Temperatur Pemanasan pada Metode Hummers Termodifikasi

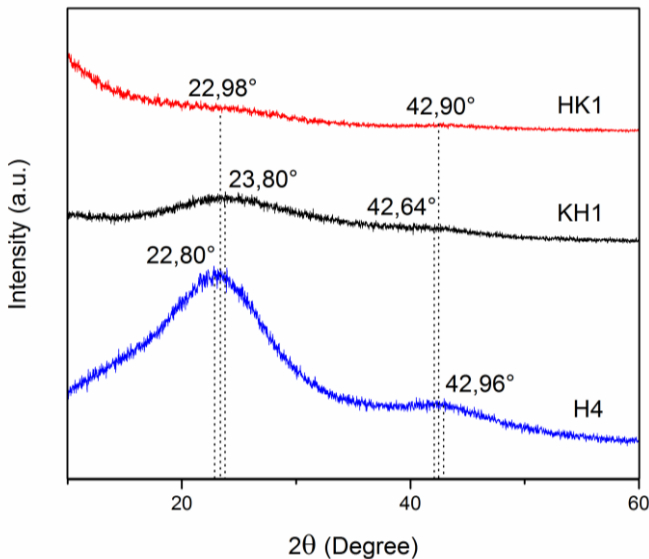
Temperatur Pemanasan	Derajat Kristalinitas
35°C	75,89%
80°C	65,02%
95°C	61,09%

IV.1.3. Pengaruh Kalsinasi terhadap Fase Kristal dan Kemurnian Partikel

Dalam sintesis *graphene* menggunakan metode Hummers Termodifikasi ini juga dipelajari pengaruh kalsinasi terhadap kristalinitas dan kemurnian dari sampel *graphene* yang dihasilkan.

Pengaruh ini dipelajari untuk dua metode yang berbeda yaitu pengaruh penambahan proses kalsinasi sebelum dilakukan metode Hummers Termodifikasi dan juga pengaruh penambahan proses kalsinasi setelah dilakukan metode Hummers Termodifikasi.

Sampel KH1 merupakan sampel yang lebih dulu mengalami proses kalsinasi sebelum disintesis dengan metode Hummers Termodifikasi. Sedangkan, sampel HK1 merupakan sampel yang dikalsinasi setelah selesai disintesis dengan metode Hummers Termodifikasi. Kedua sampel ini memiliki ukuran bahan baku yang sama yaitu 200 mesh dan disintesis dengan metode Hummers Termodifikasi dengan temperature pemanasan yang sama yaitu 35°C.



Gambar IV.5. Pola Difraksi Analisa XRD Terhadap Pengaruh Kalsinasi

Pola difraksi analisa XRD pada sampel KH1 menunjukkan adanya puncak di sudut 2θ 23,80° dan 42,64°. Sedangkan, sampel HK1 mengalami sedikit pergeseran puncak pola difraksi pada sudut 2θ 22,98° dan 42,90°. Kristalinitas kedua sampel ini jauh

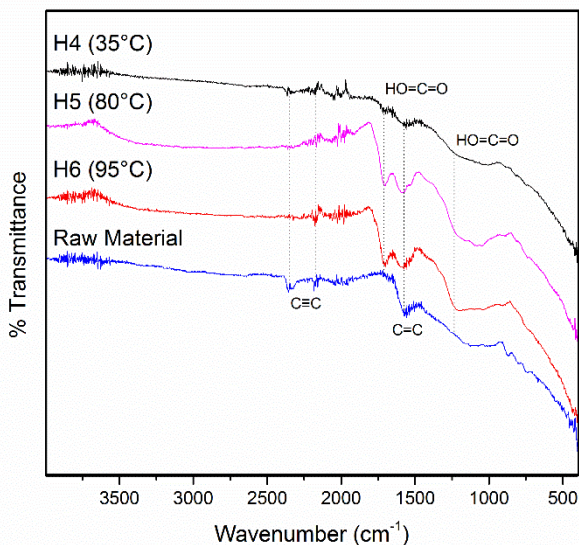
lebih rendah jika dibandingkan dengan sampel yang tidak mengalami proses kalsinasi (H4).

Untuk prosedur kalsinasi sebelum sintesis, hasil analisa XRD tersebut menunjukkan bahwa reaksi antara partikel *graphene* dengan aktivator (KOH) telah mengakibatkan perubahan struktur ikatan karbon sehingga mempengaruhi kristalinitasnya. Proses aktivasi yang melibatkan aktivator (KOH) dan pemanasan suhu tinggi ini menyebabkan perubahan struktur ikatan senyawa aromatik karbon dan pemecahan sebagian ikatan rangkap antar atom karbon menjadi ikatan tunggal.

Sedangkan, prosedur kalsinasi setelah sintesis yang bertujuan untuk reduksi termal hanya bisa digunakan untuk mensintesis *graphene* dengan ukuran kecil. Hal ini sebagian besar disebabkan oleh dekomposisi ikatan yang mengandung oksigen juga menghilangkan atom karbon karena pengaruh tekanan sehingga membuat lapisan *graphene* yang ada menjadi terpecah-pecah. Efek yang cukup besar yang terjadi dalam proses pengelupasan dengan menggunakan panas adalah hancurnya lapisan *graphene* yang disebabkan oleh terlepasnya karbondioksida (Pei dan Cheng, 2012).

IV.2. Jenis Ikatan Gugus Fungsi Partikel

Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) dilakukan untuk mengetahui jenis ikatan gugus fungsi dalam suatu senyawa. FTIR merupakan salah satu jenis spektroskopi yang didasarkan pada vibrasi suatu molekul. Prinsip kerja FTIR menggunakan metode transformasi *fourier* untuk mengukur resapan spektrum inframerah yang dipancarkan dari sumber menuju material uji pada berbagai bilangan gelombang. Keluaran yang diperoleh dari spektroskopi FTIR ini yaitu berupa grafik pola puncak-puncak dari interaksi setiap molekul dalam material uji yang menyerap energi dari spektrum inframerah yang ditunjukkan dengan grafik hubungan persentase transmisi (%T) terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}).



Gambar IV.6. Pola Transmisi Analisa FTIR Partikel *Graphene* pada Variabel Temperatur Pemanasan

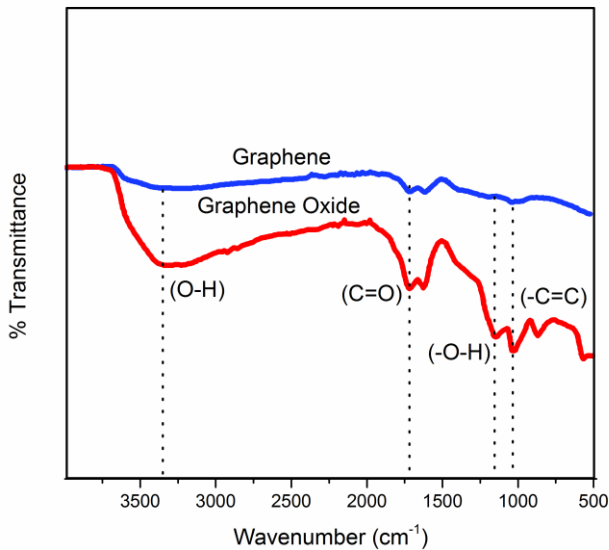
Berdasarkan Gambar IV.6., perbandingan grafik FTIR dapat terlihat bahwa pada raw material terdapat tiga puncak utama yaitu pada panjang gelombang 2120 cm^{-1} dan 2260 cm^{-1} merupakan gugus fungsi $\text{C}\equiv\text{C}$, serta pada panjang gelombang 1615 cm^{-1} terindikasi sebagai gugus fungsi $\text{C}=\text{C}$ aromatic stretching.

Pada partikel *graphene* yang berukuran 200 mesh dengan perlakuan perbedaan temperatur pemanasan (H4, H5, dan H6), terdapat beberapa perbedaan intensitas puncak yang muncul dibandingkan dengan bahan baku arang tempurung kelapa. Pada ketiga sampel *graphene* tersebut terjadi reduksi pada gugus fungsi $\text{C}\equiv\text{C}$ pada panjang gelombang 2120 cm^{-1} dan 2260 cm^{-1} . Namun, pada sampel *graphene* H6 masih terdapat sedikit puncak pada panjang gelombang 2120 cm^{-1} , hal ini mengindikasikan bahwa pada sampel H6 masih terdapat gugus fungsi *Alkynes Monosubstituted* $\text{RC}\equiv\text{CH}$. Sedangkan pada sampel *graphene* H4

terdapat sedikit puncak pada panjang gelombang 2260 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi *Unsymmetrically Disubstituted* $R_1C\equiv CR_2$. Reduksi gugus fungsi $C\equiv C$ mengindikasikan bahwa proses oksidasi yang terjadi telah berhasil memecah rangkaian ikatan pada ikatan rangkap 3 dari karbon yang terkandung pada arang.

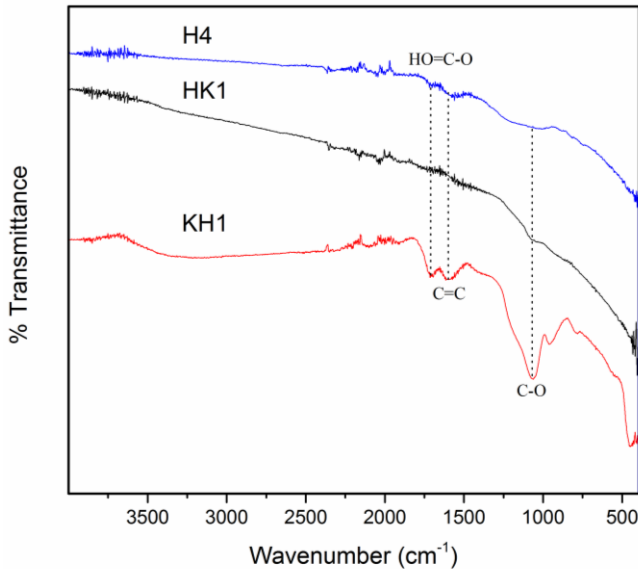
Ikatan karboksil dari gugus fungsi $COOH$ yang berupa $C=O$ dan $C-O$ secara berturut-turut terserap pada panjang gelombang 1700 cm^{-1} dan 1240 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan adanya reaksi ikatan rangkap $C=C$ di bagian ujung ikatan aromatik pada partikel *graphene*. Reaksi ini membentuk ikatan karbonil dan asam karboksilat. Terdapat tiga mekanisme reaksi oksidasi oleh senyawa MnO_4^- , H_2SO_4 dan H_2O dalam pembentukan ikatan karboksil. Pertama adalah pembelahan ikatan rangkap $C=C$ dengan membentuk produk *intermediate manganese cyclic ester* yang akan teroksidasi lebih lanjut menjadi dua ikatan karbonil. Kedua adalah pembelahan oksidatif ikatan rangkap $C=C$ menghasilkan dua asam karboksilat. Ketiga adalah pembelahan oksidatif senyawa keton atau enol menghasilkan satu asam karboksilat dan satu keton (Kang dkk, 2016).

Pada Gambar IV.6., terlihat bahwa serapan terkuat gugus $COOH$ terdapat pada sampel H6 jika dibandingkan dengan sampel H5 dan H4 serta *raw material*. Pada sampel H4, H5, dan *raw material* tidak terdeteksi adanya gugus $COOH$. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi reaksi oksidasi dimana pada temperatur pemanasan yang semakin tinggi maka reaksi oksidasi yang terjadi lebih kuat. Terjadinya reaksi oksidasi ini selaras dengan terjadinya reduksi pada ikatan $C=C$ yang terdapat pada *raw material* jika dibandingkan dengan sampel H6, H5, dan H4.



Gambar IV.7. Pola Transmisi Analisa FTIR *Graphene* dan *Graphene Oxide* (Kellici dkk, 2014).

Gambar IV.7. merupakan hasil analisa FTIR *graphene* dari literatur, dapat diketahui bahwa salah satu tanda *graphene* telah terbentuk atau tereduksi dari *graphene oxide* adalah hilangnya puncak transmisi gugus fungsi –OH yang terletak pada panjang gelombang 3317 cm^{-1} dan 1151 cm^{-1} . Hilangnya puncak ini menandakan bahwa pada *graphene* yang telah terkelupas tidak lagi mengikat OH yang tadinya disisipkan untuk memutus ikatan antar lapis *graphene*. *Graphene* juga mengalami penurunan puncak transmisi pada panjang gelombang 1713 cm^{-1} yang mengindikasikan berkurangnya gugus fungsi (C=O). Selain itu ikatan rangkap karbon atau gugus fungsi (–C=C) juga terlihat hilang pada kisaran panjang gelombang 1032 cm^{-1} . Secara umum, hasil analisa FTIR yang didapatkan pada sintesis *graphene* dengan metode Hummers Termodifikasi telah sesuai dengan hasil analisa FTIR *graphene* dari literatur.



Gambar IV.8. Pola Transmisi Analisa FTIR Partikel *Graphene* pada Metode Kalsinasi

Gambar diatas merupakan hasil analisa FTIR pada sampel *graphene* dengan treatment kalsinasi diawal (KH1) dan kalsinasi diakhir (HK1) yang dibandingkan dengan sampel *graphene* H4 (35°C). Berdasarkan gambar di atas, pada sampel KH1 terdapat puncak pada panjang gelombang 1700 cm⁻¹, 1615 cm⁻¹ dan 1060 cm⁻¹ yang terindikasi secara berturut-turut sebagai gugus fungsi C=O (karboksil), C=C, dan C-O (eter). Sedangkan, pada panjang gelombang yang sama tidak terindikasi gugus fungsi pada sampel HK1 dan H4. Hal ini dikarenakan tujuan dari metode kalsinasi selain untuk membuka pori pada sampel *graphene* yang dapat meningkatkan luas permukaan adalah sebagai salah satu metode reduksi untuk mendapatkan *graphene*. Pengelupasan atau reduksi ini terjadi dikarenakan terjadinya ekspansi secara spontan dari gas CO atau CO₂ dari hasil reaksi antara KOH dengan karbon seperti yang telah dijelaskan sebelumnya didalam partikel *graphene*.

Kenaikan temperatur yang cepat mengakibatkan oksigen yang terdapat pada gugus-gugus fungsi yang berikatan dengan karbon terdekomposisi menjadi gas yang mengakibatkan terbentuknya tekanan yang tinggi diantara lapisan-lapisan yang mengakibatkan terputusnya ikatan antar layer pada *graphene*. Berdasarkan *state equation*, tekanan 40 MPa dihasilkan pada temperatur 300°C dan tekanan 130 MPa dihasilkan pada 1000°C, sedangkan tekanan yang diperlukan untuk memisahkan dua layer *graphene* hanya sebesar 2,5 MPa (Pei dan Cheng, 2012).

Dengan kalsinasi yang dilakukan hingga 800°C menyebabkan ratio C/O lebih besar dari 13 (Pei dan Cheng, 2012), sehingga menyebabkan kekosongan gugus fungsi karbonil maupun karboksil pada partikel *graphene*. Pada sampel KH1 kalsinasi dilakukan sebelum metode Hummers, sehingga *graphene* yang telah terbentuk teroksidasi lagi yang disebabkan oleh hadirnya oksidator kuat Mn_2O_7 serta MnO_3^+ sehingga terbentuk gugus karbonil C=O yang berupa asam karboksilat (-COOH) dan gugus *cyclic ether* C-O pada akhir sintesis (Dreyer, 2009).

IV.3. Luas Permukaan Partikel

Karakterisasi dengan menggunakan metode BET (Brunauer-Emmet-Teller) dilakukan untuk menghitung luas permukaan spesifik dari partikel *graphene*. Hasil dari karakterisasi luas permukaan dapat dilihat pada Tabel IV.3., luas permukaan yang dihasilkan dengan menggunakan metode Hummers Termodifikasi dipengaruhi oleh temperatur pemanasan dan ukuran bahan baku arang tempurung kelapa yang digunakan. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa, luas permukaan *graphene* pada temperatur pemanasan 35°C, 80°C, dan 95°C serta ukuran partikel 35 mesh secara berturut-turut adalah 158,939 m²/g, 58,154 m²/g, dan 147,323 m²/g. Sedangkan pada ukuran partikel *graphene* 200 mesh untuk temperatur pemanasan yang sama secara berturut-turut adalah 219,867 m²/g, 133,281 m²/g, dan 88,332 m²/g. Luas permukaan partikel *graphene* meningkat dibandingkan dengan bahan baku 35 mesh yang memiliki luas permukaan sebesar 78,708

m²/g. Sedangkan, jika dibandingkan dengan bahan baku 200 mesh yang memiliki luas permukaan sebesar 257,09 m²/g, luas permukaan yang didapat menurun. Pada proses sintesis *graphene* dengan metode Hummers Termodifikasi, perbedaan temperatur dan ukuran partikel tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap luas permukaan partikel *graphene*.

Berdasarkan literatur, *graphene oxide* yang masih memiliki gugus fungsi –OH memiliki luas permukaan sebesar 278,30 m²/g. Sedangkan setelah direduksi menjadi *graphene* dengan menghilangkan gugus fungsi –OH, luas permukaannya sedikit turun menjadi 234,1 m²/g (Kim dkk, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa sintesis *graphene* dengan metode Hummers Termodifikasi sudah hampir mencapai luas permukaan yang sesuai dengan literatur.

Tabel IV.3. Luas Permukaan *Graphene* pada Berbagai Sampel

Sampel	S _{BET} (m ² /g)	Sampel	S _{BET} (m ² /g)
RM (35 mesh)	75,71	H5	133,28
RM (200 mesh)	257,09	H6	88,33
H1	158,94	HK1	1.127,77
H2	58,15	HK2	1.341,35
H3	147,32	HK3	1.334,99
H4	219,87	KH1	496,03

Pada proses sintesisnya, sampel *graphene* HK1, HK2, HK3, dan KH1 ditambahkan metode kalsinasi di awal atau di akhir dari metode Hummers Termodifikasi yang bertujuan untuk menyempurnakan proses reduksi *few layer graphene* (FLG) menjadi *single layer graphene* (SLG). Pada sampel HK (Hummers, Kalsinasi), metode kalsinasi ditambahkan setelah metode Hummers Termodifikasi. Sedangkan pada sampel KH (Kalsinasi, Hummers), metode kalsinasi ditambahkan sebelum metode Hummers Termodifikasi. Berdasarkan Tabel IV.3., metode

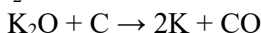
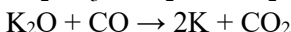
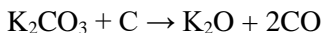
kalsinasi meningkatkan luas permukaan dari partikel *graphene* secara signifikan, pada sampel HK1, HK2, dan HK3 secara berturut-turut terjadi peningkatan luas permukaan menjadi 1.127,771 m²/g, 1.341,35 m²/g, dan 1.334,992 m²/g. Sedangkan kenaikan luas permukaan pada sampel KH1 hanya mencapai 496,037 m²/g.

Metode kalsinasi dilakukan pada temperatur 400°C selama 1 jam dan pada temperatur 800°C selama 3 jam dengan bantuan aktivator KOH dengan perbandingan massa karbon : KOH adalah 1 : 4. Kalium Hidroksida (KOH) merupakan jenis aktivator yang cukup sering digunakan untuk proses aktivasi karbon melalui metode kimiawi. Reaksi yang berlangsung pada metode aktivasi dengan menggunakan logam alkali terjadi pada fase padat-padat maupun padat-cair yang terdiri dari reaksi reduksi gugus hidroksida dan oksidasi karbon. Berikut adalah reaksi antara KOH dengan *graphene* pada saat proses kalsinasi berlangsung (Raymundo Piñero dkk., 2005):

Tahap pertama ada metode aktivasi dengan KOH berlangsung pada suhu 400°C dan merupakan reaksi redoks. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Reaksi redoks (oksidasi karbon) berlangsung pada temperatur 400°C dengan ditandai dengan terbentuknya K₂CO₃. Pada temperatur 600°C, seluruh KOH telah habis bereaksi. K₂CO₃ yang terbentuk pada reaksi (1) secara signifikan terdekomposisi menjadi K₂O dan CO₂ ada temperatur 700°C. Sehingga pada temperatur 800°C, K₂O terdekomposisi menjadi kalium. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

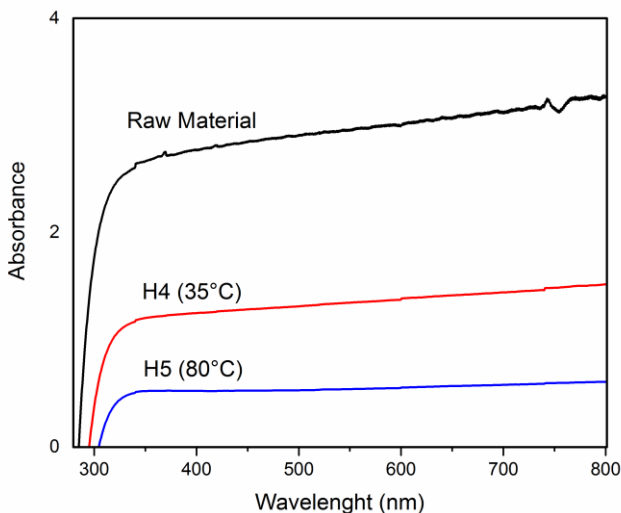


Reaksi (2), (3), (4), dan (5) menjelaskan terbentuknya pori-pori pada *graphene* yang disebabkan oleh aktivasi kimia oleh berbagai reaksi senyawa kalium. Gas CO, CO₂, dan H₂ yang

terbentuk selama reaksi aktivasi akan terbawa keluar oleh aliran gas N_2 sehingga meninggalkan bekas berpori pada partikel *graphene*. Proses aktivasi dengan KOH ini (metode kalsinasi) mengakibatkan partikel *graphene* memiliki peningkatan luas permukaan yang signifikan.

IV.4. Transparansi Partikel

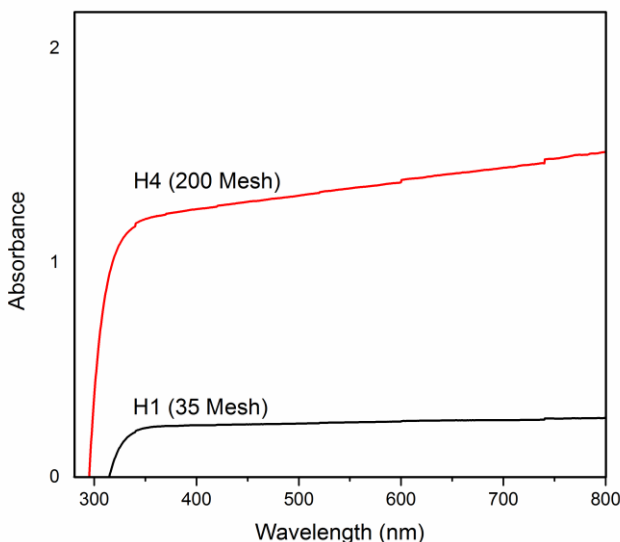
Transparansi partikel *graphene* dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-VIS. Spektrofotometer UV-VIS ini menggunakan sinar ultraviolet dan sinar tampak untuk menentukan tingkat transparansi maupun absorbansi pada suatu partikel.



Gambar IV.9. Absorbansi *Graphene* pada Variabel Temperatur Pemanasan

Nilai absorbansi menunjukkan intensitas cahaya atau energi yang diserap oleh partikel-partikel dalam larutan. Dalam hal ini, Gambar IV.9. menunjukkan adanya perbedaan pada tingkat absorbansi rata-rata partikel pada perbedaan temperatur

pemanasan dalam metode Hummers Termodifikasi. Nilai absorbansi terbesar dimiliki oleh bahan baku yaitu arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa yang sudah disintesis menggunakan metode Hummers Termodifikasi mengalami penurunan nilai absorbansi. Sampel H4 yang disintesis dengan temperatur pemanasan 35°C memiliki nilai absorbansi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sampel H4 yang disintesis dengan temperatur pemanasan 80°C.



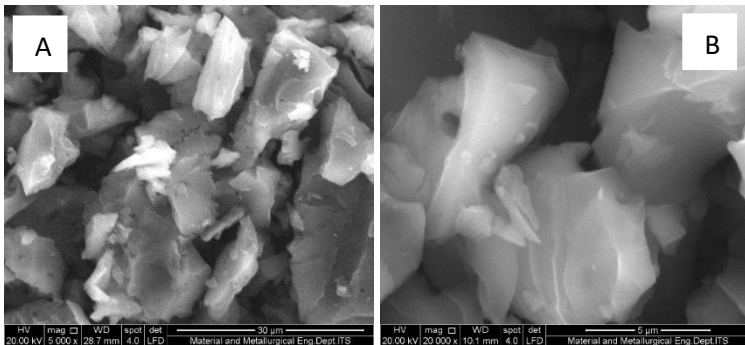
Gambar IV.10. Absorbansi *Graphene* pada Variabel Ukuran Partikel Arang Tempurung Kelapa

Perbedaan nilai absorbansi juga dapat dilihat pada kedua sampel yang disintesis dari ukuran bahan baku yang berbeda. Sampel H4 yang disintesis dari arang tempurung kelapa berukuran 200 mesh memiliki nilai absorbansi yang lebih rendah dari sampel H1 yang berukuran 35 mesh. Sampel yang lebih banyak menyerap energi atau cahaya memiliki transparansi yang lebih rendah. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran partikel

arang tempurung kelapa yang digunakan untuk mensintesis arang tempurung kelapa maka semakin besar pula transparansi partikel yang dihasilkan. Begitu pula dengan temperatur pemanasan, semakin tinggi temperatur pemanasan maka semakin tinggi nilai transparansinya.

IV.5. Morfologi Partikel

Morfologi partikel *graphene* yang telah disintesis dengan metode Hummers Termodifikasi dianalisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



Gambar IV.11. Morfologi Partikel *Graphene* (200 mesh, 35°C) pada pembesaran A) 5.000x (B) 20.000x

Dari Gambar IV.11. terlihat bahwa ukuran dari partikel *graphene* yang dihasilkan masih belum seragam. Partikel *graphene* tersebut juga masih belum memiliki kesamaan bentuk satu sama lain serta masih saling tumpang tindih. Ukuran partikel rata-rata yang teramati adalah 26,25 μm . Ukuran ini sudah mendekati dari ukuran *graphene nanoplatelets* yang dikomersialkan yaitu 25 μm .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. *Graphene* telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode Hummers Termodifikasi.
2. Peningkatan temperatur pemanasan pada metode Hummers Termodifikasi menyebabkan derajat oksidasi yang terjadi akan semakin tinggi sehingga menggeser puncak pola difraksi kearah kiri mendekati sudut 2θ 23° pada hasil analisa XRD dan puncak absorbansi ikatan karboksil pada panjang gelombang 1240 cm^{-1} dan 1700 cm^{-1} . Peningkatan temperatur pemanasan meningkatkan kemurnian dan transparansi namun menurunkan kristalinitas dan luas permukaan partikel.
3. Penggunaan bahan baku arang tempurung kelapa dengan ukuran yang semakin besar akan meningkatkan kristalinitas dan transparansi partikel namun menurunkan kemurnian dan luas permukaannya.
4. Penambahan metode kalsinasi sebelum dan sesudah metode Hummers Termodifikasi dapat meningkatkan luas permukaan partikel *graphene*.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan untuk

1. Mencoba mengganti metode reduksi thermal dengan metode reduksi kimiawi dan mekanik.
2. Pencucian dilakukan dengan cara perendaman dengan asam kuat selama 30 menit kemudian dilanjutkan dengan air demin.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pendidikan Nasional. 1995. "Sifat Fisika dan Kimia Arang." *Ensiklopedia Nasional Indonesia* 2:3-4.
- Dreyer, Daniel. 2009. "The Chemistry of Graphene Oxide." *Graphene Oxide: Reduction Recipes, Spectroscopy, and Applications* 61–95.
- Ekalinda, Oni. 2001. "Teknologi Pembuatan Arang Tempurung Kelapa." *Balai Pengkajian Teknologi Pertanian* (341).
- Green, Alexander A. dan Mark C. Hersam. 2009. "Solution Phase Production of Graphene with Controlled Thickness via Density Differentiation." *Nano Letters* 9(12):4031–36.
- Hummers, William S. dan Richard E. Offeman. 1958. "Preparation of Graphitic Oxide." *Journal of the American Chemical Society* 80(6):1339–1339.
- Inagaki, Michio dan Feiyu Kang. 2014. "Introduction." *Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals* 1–15.
- Kang, Jong Hun, Kim Taehoon, Choi Jaeyoo, Park Jisoo, Kim Yern Seung, Chang Mi Se, Jung Haesol, Park Kyung Tae, Yang Seung Jae, dan Park Chong Rae. 2016. "Hidden Second Oxidation Step of Hummers Method." *Chemistry of Materials* 28(3):756–64.
- Kim, Keun Soo. 2009. "Large-Scale Pattern Growth of Graphene Films for Stretchable Transparent Electrodes." *Nature* 457(7230):706–10.
- Lee, Jeong K., Kurt B. Smith, Cary M. Hayner, and Harold H. Kung. 2010. "Silicon Nanoparticles–graphene Paper Composites for Li Ion Battery Anodes." *Chemical Communications* 46(12):2025.
- Matsuzawa, Yoshiaki. 2007. "Characterization of Carbonized Municipal Waste as Substitute for Coal Fuel." *Fuel* 86(1–2):264–72.
- Nogoseno. 2003. "Reinveting Agribisnis Perkelapaan Nasional." *Prosiding Konferensi Nasional Kelapa* (5):23.
- Pei, Songfeng and Hui Ming Cheng. 2012. "The Reduction of

- Graphene Oxide.” *Carbon* 50(9):3210–28.
- Petrova, B., Tsyntsarski B. Budinova, T. Petrov, N. Ania, C. O. Parra, J. B. Mladenov, dan M. Tzvetkov P. 2010. “Synthesis of Nanoporous Carbons from Mixtures of Coal Tar Pitch and Furfural and Their Application as Electrode Materials.” *Fuel Processing Technology* 91(11):1710–16.
- Pierson, Hugh O. n.d. “Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes.” New Jersey : Noyes Publication.
- Ray, Sekhar Chandra. 2015. “Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials.” Oxford : Elsevier.
- Raymundo-Pinero, E. Azais, P., Cacciaguerra, T., Cazorla-Amors, D., Linares-Solano, A. Biguin, F. 2005. “KOH and NaOH Activation Mechanisms of Multiwalled Carbon Nanotubes with Different Structural Organisation.” *Carbon* 43(4):786–95.
- Rout, Tanmya, Debalaxmi Pradhan, R. K. Singh, and Namrata Kumari. 2015. “Exhaustive Study of Products Obtained from Coconut Shell Pyrolysis.” *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4(3):3696–3705.
- Royal Swedish Academy, O. F. Sciences. 2010. “Graphene: Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2010.” *The Royal Swedish Academy of Sciences* 50005(October):0–10.
- Suhartana. 2006. “Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Bahan Baku Arang Aktif dan Aplikasinya untuk Penjernihan Air Sumur di Desa Belor Kecamatan Ngarangan Kabupaten Grobogan.” *Berkala Fisika FMIPA UNDIP* 9(3):151–56.
- Tang, Yufeng, Fuqiang Huang, Wei Zhao, Zhanqiang Liu, dan Dongyun Wan. 2012. “Synthesis of Graphene-Supported Li₄Ti₅O₁₂ Nanosheets for High Rate Battery Application.” *Journal of Materials Chemistry* 22(22):11257.
- Yang Xiaoyin, Dou Xi, Rouhanipour Ali, Zhi Linjie, Räder, Hans Joachim, dan Müllen Klaus. 2008. “Two-Dimensional Graphene Nanoribbons.” *Journal of the American Chemical Society* 130(13):4216–17.

Zhang, Caiyun, Zhu Xiaohong, Wang Zhongxing, Sun Ping, Ren Yinjuan, Zhu Jiliang, Zhu Jianguo, dan Xiao Dingquan. 2014. "Facile Synthesis and Strongly Microstructure-Dependent Electrochemical Properties of Graphene/manganese Dioxide Composites for Supercapacitors." *Nanoscale Research Letters* 9:490.

BIOGRAFI PENULIS



FILLA MULYAWATI KHADIFAH

dilahirkan di Kabupaten Mojokerto pada 24 Oktober 1996. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal sejak tahun 2002-2005 pada SDN Klender 15 Pagi Jakarta Timur dan dilanjutkan sejak tahun 2005-2008 pada SDN Kunciran 7 Tangerang. Pendidikan menengah penulis ditempuh pada SMPN 3 Tangerang pada tahun 2008-2011, dan SMAN 1 Puri Mojokerto pada tahun 2011-2013. Setelah lulus dari SMA, penulis meneruskan pendidikan formalnya pada Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013-2017. Semasa kuliah, penulis mempunyai hobi *crafting*. Selain itu, penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Polychem Indonesia Tbk. Tugas akhir sebagai syarat kelulusan jenjang S-1 ditempuh penulis di Laborarium Elektrokimia dan Korosi, di bawah bimbingan Dr. Widiyastuti, S.T., M.T.. dan Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng dengan bidang Sintesis *Graphene* Berbasis Arang Tempurung Kelapa dengan Metode Hummers Termodifikasi. Penulis dapat dihubungi melalui email: fillamkhadifah@gmail.com

BIOGRAFI PENULIS



RYAN NURISAL dilahirkan di Kabupaten Serang pada 10 Desember 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal sejak tahun 2002-2008 pada SDYPWKS III Cilegon. Pendidikan menengah penulis ditempuh pada SMPN 1 Cilegon pada tahun 2008-2011, dan SMAN 1 Kota Serang pada tahun 2011-2013. Setelah lulus dari SMA, penulis meneruskan pendidikan formalnya pada Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013-2017. Semasa kuliah, penulis mempunyai hobi *hiking*. Selain itu, penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Polychem Indonesia Tbk. Tugas akhir sebagai syarat kelulusan jenjang S-1 ditempuh penulis di Laborarium Elektrokimia dan Korosi, di bawah bimbingan Dr. Widiyastuti, S.T., M.T., dan Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng dengan bidang Sintesis *Graphene* Berbasis Arang Tempurung Kelapa dengan Metode Hummers Termodifikasi. Penulis dapat dihubungi melalui email: ryannurisal@outlook.com